

CONVERTING DEVICE

Publication number: JP2000028462
Publication date: 2000-01-28
Inventor: IKEDA MASAHARU; ESASHI MASAKI
Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD
Classification:
 - international: **G01D5/241; G01D5/12; (IPC1-7): G01L9/12**
 - european: **G01D5/241D**
Application number: JP19980213432 19980714
Priority number(s): JP19980213432 19980714

Also published as:



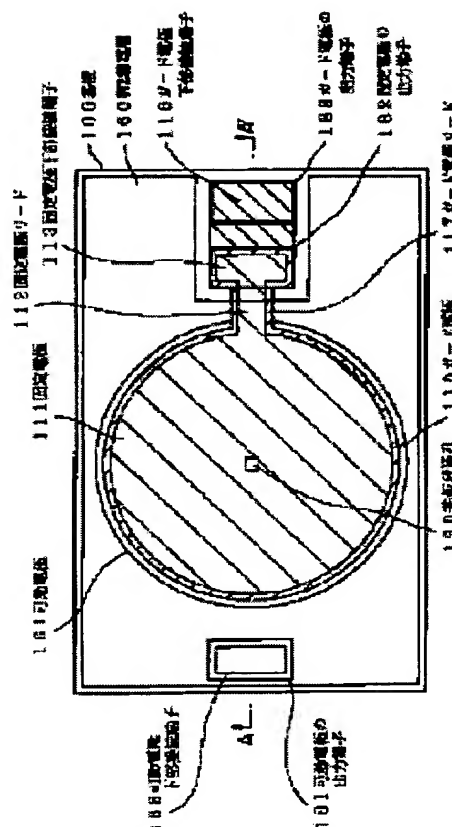
EP0973012 (A1)
 US6145384 (A1)
 EP0973012 (B1)
 NO320487B (B1)
 DE69912887T (T2)

more >>

Report a data error here

Abstract of JP2000028462

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent reduction in detection sensitivity due to parasitic capacitance and to prevent the mixing-in of external noise due to electrostatic coupling in the case of a pressure sensor, etc. **SOLUTION:** A guard electrode 116 is provided in the main surface of a semiconductor substrate 100, and a fixed electrode 111 is formed on it via an insulating layer. A cavity is further formed on it by a diaphragm, and a movable electrode 161 is formed between the layers of the diaphragm. A substrate through hole 190 is provided from the subordinate surface of the substrate 100 to the cavity. An operational amplifier to drive so as to make the potential of the guard electrode 116 equal to the potential of the fixed electrode 111 is provided to convert changes in the capacities of the fixed electrode 111 and the movable electrode 161 into a voltage directly related to the displacement of the diaphragm. As it is possible to make the effective capacitance between the fixed electrode 111 and the guard electrode 116 be of an extremely small value, it is possible to detect minute changes in capacity and to prevent reduction in sensitivity. In addition, it is possible to shield the fixed electrode 111 from electric lines of force arriving from the direction of the subordinate surface of the substrate 100. Furthermore, it is possible to arrange the circuit at the lower layer of the fixed electrode 111 and to miniaturize the device.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-28462

(P2000-28462A)

(43)公開日 平成12年1月28日(2000.1.28)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 0 1 L 9/12

G 0 1 L 9/12

2 F 0 5 5

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 19 頁)

(21)出願番号

特願平10-213432

(22)出願日

平成10年7月14日(1998.7.14)

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 池田 雅春

神奈川県横浜市港北区綱島東四丁目3番1

号 松下通信工業株式会社内

(72)発明者 江刺 正喜

宮城県仙台市太白区八木山南一丁目11番9

号

(74)代理人 100099254

弁理士 役 昌明 (外3名)

Fターム(参考) 2F055 AA40 BB20 CC02 DD05 EE25/

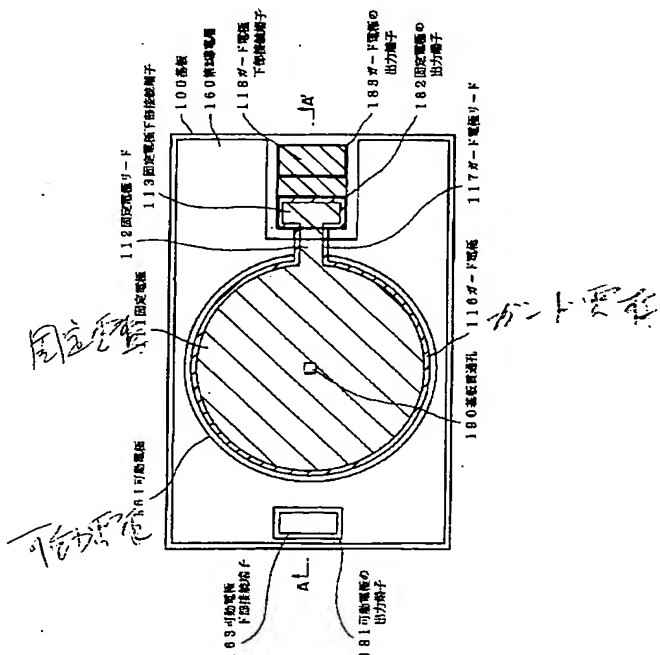
FF38 FF43 GG01 GG11

(54)【発明の名称】 変換装置

(57)【要約】

【課題】 圧力センサーなどの変換装置において、寄生容量による検出感度低下を防止するとともに、静電結合による外部雑音の混入を防止する。

【解決手段】 半導体基板100の主表面にガード電極116を設け、その上に絶縁層を介して固定電極111を形成する。さらにその上にダイヤフラムで空洞を形成し、ダイヤフラムの層間に可動電極161を形成する。基板100の従表面から空洞に至る基板貫通孔190を設ける。ガード電極116の電位を固定電極111の電位と同一にするように駆動する演算増幅器を設けて、固定電極111と可動電極161間の容量変化をダイヤフラムの変位に直接関係した電圧に変換する。固定電極111とガード電極116との間の実効的な静電容量を極めて小さな値にできるので、微小な容量変化が検出でき、感度の低下を防げる。また、基板100の従表面方向から到来する電気力線から固定電極111を遮蔽できる。さらに、固定電極111の下層に回路を配置でき、装置を小型にできる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板の主表面上に形成されたガード電極と、前記ガード電極の上部に形成された絶縁層と、前記絶縁層の上部に形成された固定電極と、前記ガード電極の電位が前記固定電極の電位と等しくなるように前記ガード電極を駆動する緩衝増幅手段とを具備することを特徴とする変換装置。

【請求項2】 基板の主表面上に形成されたガード電極と、前記ガード電極の上部に形成された絶縁層と、前記絶縁層の上部に形成された固定電極と、前記ガード電極の電位が前記固定電極の電位と等しくなるように前記ガード電極を駆動する緩衝増幅手段と、前記基板の従表面から主表面に向かう貫通孔と、前記固定電極の上部の領域占有物質を前記貫通孔を介して気相除去して形成された空洞の主表面側を閉じるように形成されたダイヤフラム層とを具備することを特徴とする変換装置。

【請求項3】 外部からの電気力線を前記固定電極に導かないように表面全体を覆う導電層を設けたことを特徴とする請求項1、2記載の変換装置。

【請求項4】 前記基板を回路集積された半導体基板とし、前記緩衝増幅手段を前記半導体基板に集積したことを特徴とする請求項1、2記載の変換装置。

【請求項5】 前記固定電極の上部に電荷を保持したエレクトレット層を設けたことを特徴とする請求項1、2記載の変換装置。

【請求項6】 絶縁層に取り囲まれた導電層内部に電荷を注入したエレクトレットを、前記固定電極の上部に設けたことを特徴とする請求項1、2記載の変換装置。

【請求項7】 前記固定電極の電荷を実質的に一定にするバイアス手段を設けたことを特徴とする請求項1、2記載の変換装置。

【請求項8】 静電容量の検出用の交流信号を前記固定電極に印加する手段を設けたことを特徴とする請求項1、2記載の変換装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、変換装置に関し、特に、機械的な変位を静電容量で検出して電気信号に変換する変換装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の、機械的な圧力による変位を電気信号に変換する変換装置としては、例えば、特開平9-257618号公報に記載されている静電容量検出型圧力センサがある。図7～図9は、同装置の構造と製造方法と容量電圧変換回路を示した図である。図7は、その圧力センサの平面図で、主に電極の配置を表した図である。図8は、製造工程順に示したA-A'断面図である。基板の主表面に形成された固定電極上に圧力基準室が設けられている。圧力基準室を覆うように形成された絶縁性ダイヤフラムと、絶縁性ダイヤフラムの表面の導電性膜であ

る可動電極とから、圧力センサが構成されている。

【0003】図9は、このように形成された固定電極と可動電極の静電容量を検出するための容量電圧変換回路であって、スイッチトキャパシタ回路で構成されている。なお、図9の容量電圧変換回路は、製造工程の寸法バラツキによる静電容量値の分布や、温度変動などによる寸法変化に由来する変動を吸収するための基準コンデンサを備えているものである。図7に示したものは、そのような基準コンデンサを含んだ構成になっていない。この基準コンデンサは、犠牲層を除去しないものを隣接して形成することで、容易に構成できる。

【0004】従来の圧力センサの製造工程の概略を、図8を参照して説明する。単結晶シリコンからなる基板100の主表面内部に不純物を拡散して、導電性を持たせた固定電極111と、固定電極リード112と、固定電極下部接続端子113の領域を形成したのち、主表面の上に第1絶縁層120を形成する（図8a）。

【0005】次に、その主表面の上に犠牲層140の領域を形成する（図8b）。次に、その主表面の上に第1絶縁性ダイヤフラム層150を形成し、さらにその上に第1導電層110を形成する。その後、第1導電層110は、可動電極161と、可動電極の電気接続に用いる可動電極リード82および下部接続端子163を残し、除去する（図8c）。次に、その主表面の上に第2絶縁性ダイヤフラム層170を形成した後、第2絶縁性ダイヤフラム層170および第1絶縁性ダイヤフラム層150を貫通して犠牲層140に達する薬液導入孔10を形成する（図8d）。

【0006】次に、犠牲層140を等方的にエッチングする薬液を、薬液の導入孔10を介して導入して犠牲層140を除去する。第1絶縁層120と第1絶縁性ダイヤフラム層150の間に圧力基準室20を形成する。さらに、第2絶縁性ダイヤフラム層170を貫通して可動電極下部接続端子163に達する可動電極接続孔11と、第2絶縁性ダイヤフラム層170および第1絶縁性ダイヤフラム層150および第1絶縁層120を貫通して固定電極下部接続端子113に達する固定電極接続孔132を形成する（図8e）。

【0007】次に、その主表面の上に導電層を形成した後、可動電極下部接続端子163から可動電極接続孔11を介して接続された可動電極の出力端子181の領域と、固定電極下部接続端子113から固定電極接続孔132を介して接続された固定電極の出力端子182の領域とを残し、除去する（図8f）。次に、薬液の導入孔10を封止するように、封止部材層をその主表面の上に形成し、薬液の導入孔10付近を封止キャップ30として残し、除去する（図8g）。

【0008】このように、従来の圧力センサは、主表面に固定電極が形成された基板と、主表面から所定の距離だけ離して圧力基準室を区画形成する第1絶縁性ダイヤフラム層と、そのダイヤフラム上に導電層で形成された可動電極と、可動電極を覆うように形成された第2絶縁

性ダイヤフラム層と、この第2絶縁性ダイヤフラム層と第1絶縁性ダイヤフラム層を貫通して圧力基準室に至る開口と、その開口を封止して圧力基準室を密封する封止部材を含むような構成になっている。

【0009】従来の圧力センサの第1および第2絶縁性ダイヤフラム層からなるダイヤフラムは、周囲の圧力に応じて変形する。すなわち、このダイヤフラムには、圧力基準室内部からの圧力によって、ダイヤフラムと固定電極の距離を広げる方向の力と、外界から印加される圧力によって、ダイヤフラムと固定電極の距離を近づける方向の力とが加わり、その差の力の分だけダイヤフラムを変形させる。その結果、ダイヤフラム上に形成された可動電極と固定電極からなるコンデンサの静電容量は、その変形に応じた値を示す。その静電容量値を計測することで、圧力基準室とセンサに印加された圧力の差を知ることができる。もし、圧力基準室の圧力を、センサの圧力計測範囲よりも十分に小さく設定すれば、このセンサを絶対圧力計測型にすることができる。

【0010】従来の圧力センサの可動電極と固定電極との間の静電容量は、図9のような容量電圧変換回路によって計測される。SWr、SWx、SWf、SWoは、それぞれ電圧制御型スイッチである。クロック電圧源VckがHレベルの時に上側（黒印）接点に接続され、Lレベルの時に下側（白印）接点に接続される。これらのスイッチは連動して、上側接点への接続と、下側接点への接続を繰り返すように構成されている。Vbはバイアス電圧源であり、A1は演算増幅器であり、Cfは帰還コンデンサであり、Coはリップル平滑用の出力コンデンサであり、Eoは出力電圧である。Cxは、可動電極161と固定電極111がなすコンデンサであり、Crは、基準電極51と固定電極111がなすコンデンサであり、CsxおよびCsrは、固定電極111と基板100がなすコンデンサである。演算増幅器A1の開ループ利得は非常に大いので、回路構成上、演算増幅器の（-）入力端子の電位は、その（+）入力端子の電位と等しくなる。そのため、固定電極111の出力端子の電位は、接地電位になる。

【0011】次に、図9に示した回路の具体的な動作を説明する。まず、クロック電圧源VckがLからHに変化し、SWr、SWx、SWf、SWoが、それぞれ上側接点に接続され、電荷の移動が完了した時刻において、コンデンサCrの基準電極51と固定電極111の電位はともに接地電位となるので、コンデンサCrの蓄積電荷はゼロである。一方、コンデンサCxの可動電極161の電位は電圧源Vbの電圧Vbであり、固定電極111の電位は接地電位なので、コンデンサCxの蓄積電荷Qxは、 $Cx \cdot Vb$ となる。コンデンサCfの2つの端子はスイッチSWfで短絡されているため、端子の電位はともに固定電極の出力端子182と同じになり、コンデンサCfの蓄積電荷はゼロである。容量電圧変換回路の出力電圧Eoは、コンデンサCoが演算増幅器A1の出力から切り離されているため、

クロック電圧源VckがLであった最後の時刻に蓄積された電荷に応じた電位を保持している。

【0012】次に、クロック電圧源VckがHからLに変化し、SWr、SWx、SWf、SWoが、それぞれ下側接点に接続され、電荷の移動が完了した時刻において、コンデンサCxの端子間電圧はゼロになるため、蓄積電荷がゼロになる方向に、演算増幅器A1の（-）入力端子から固定電極111に向けて（+）電荷が移動する。一方、コンデンサCrの端子間電圧はVbになるため、ゼロだった電荷が蓄積電荷Qr（ $= Cr \cdot Vb$ ）になる方向に、固定電極111から演算増幅器A1の（-）入力端子に向けて（+）電荷が移動する。これらの電荷は、スイッチSWfが開であるため、コンデンサCfに蓄積され、その電荷の大きさは、

$$Qr - Qx = Cr \cdot Vb - Cx \cdot Vb = Vb (Cr - Cx)$$

となる。したがって、コンデンサCfの端子間電圧Vcfは、

$$Vcf = Vb (Cr - Cx) / Cf$$

となる。そして、演算増幅器A1の（-）入力端子に接続されたコンデンサCfの一端がゼロ電位であることから、容量電圧変換回路の出力電圧Eoは、極性が反転し、

$$Eo = Vb (Cx - Cr) / Cf$$

となる。コンデンサCoは、この電位に対応する電荷を蓄積する。

【0013】このように、クロック電圧源VckがHの期間は、コンデンサCxに電荷を蓄積し、且つ、コンデンサCfの電荷をゼロとし、且つ、直前のクロック電圧源VckがLの期間の値を出力電圧Eoとして出力する。そして、クロック電圧源VckがLの期間は、コンデンサCxの電荷をゼロとし、且つ、コンデンサCfに電荷を蓄積し、且つ、

$$Eo = Vb (Cx - Cr) / Cf$$

なる値を、出力電圧Eoとして出力する。そして、出力電圧Eoの値は、図7と図8のように形成された可動電極161と固定電極111の距離の逆数に関係し、その距離は、第1絶縁性ダイヤフラム層150、第1導電層110、第2絶縁性ダイヤフラム層170からなるダイヤフラムに印加された圧力に関係する。したがって、ダイヤフラムに印加された圧力の逆数に関係した出力電圧Eoが出力される静電型圧力センサを構成することができる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の圧力センサのような静電容量検出型の装置では、固定電極と可動電極のなす微小容量を高入力インピーダンスで検出するため、装置外部からの電気力線が固定電極に落ちて、雑音を招いてしまうという問題があった。また、固定電極とその下層にある導電層との距離が短く、それらの寄生静電容量が被検出容量より大きく、容量電圧変換回路に大きな影響を与えるという問題がある。上

記従来の圧力センサでは、スイッチトキャパシタ回路の構成を工夫して、基板との寄生容量からの影響を受けにくくしているが、クロックを発生させる回路が必要であったり、クロックが他の回路に影響を与えるなどの問題があった。

【0015】さらに、上記従来の圧力センサのような構成のスイッチトキャパシタ回路では、ダイヤフラムの変位の逆数に関係した電圧出力しか得られず、変位に直接関係した出力が得られないという問題があった。構成が簡単で、且つ、ダイヤフラムの変位に直接関係した出力が得られる変換方式として、例えば、固定電極に一定の電荷を蓄積して変換する方法がある。しかし、固定電極と基板との間の寄生容量が大きい上記従来の圧力センサのような構成では、感度が低くなるという問題があり、実用的な感度を得ることは困難であった。

【0016】図9の容量電圧変換回路では、基板主表面からの電気力線を遮蔽する工夫がなされている。すなわち、スイッチで切り替えられてはいるものの、圧力センサの主表面側に面した可動電極161および基準電極51には、いつでも電圧源が接続されており、外部雑音源からの電気力線が圧力センサに落ちても、その電荷は電圧源を介して接地されるため、固定電極に迷い込むことがなく、静電的な雑音に対する遮蔽効果を有している。しかし、基板100の従表面から浸入する電気力線に対する遮蔽の仕組みは考慮されていない。これは、一般的な圧力センサは、それを収容する圧力容器にシールドを兼ねた導電性の材料を用いることでこの問題を解決しているからであるが、より小型な変換装置を構成しようとする際には、この解決策は障害になる。

【0017】本発明は、このような従来の問題を解決し、静圧力や動圧力による機械的な変位に基づく静電容量の変化を、外部雑音の影響を受けないで電気信号に変換する容量電圧変換回路を使用した変換装置を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するために、本発明では、変換装置を、基板の主表面上に形成されたガード電極と、ガード電極の上部に形成された絶縁層と、絶縁層の上部に形成された固定電極と、ガード電極の電位が固定電極の電位と等しくなるようにガード電極を駆動する緩衝増幅手段とを具備する構成とした。

【0019】このように構成したことにより、固定電極と基板の間の静電容量を等価的に小さくし、さらに、基板の従表面から到来する電気力線から固定電極を遮蔽することができる。そのため、構成が簡単な、固定電極の電荷を一定にして容量電圧変換する回路構成が利用でき、さらに、シールドを兼ねた容器を用いることなく構成できるため、より小型にすることができる。そして、ダイヤフラムなどの機械的な変位に直接関係した出力が得られようになる。

【0020】また、変換装置を、基板の主表面上に形成されたガード電極と、ガード電極の上部に形成された絶縁層と、絶縁層の上部に形成された固定電極と、ガード電極の電位が固定電極の電位と等しくなるようにガード電極を駆動する緩衝増幅手段と、基板の従表面から主表面に向かう貫通孔と、固定電極の上部の領域占有物質を貫通孔を介して気相除去して形成された空洞の主表面側を閉じるように形成されたダイヤフラム層とを具備する構成とした。

【0021】このように構成したことにより、固定電極と可動電極の距離が印加圧力などの機械力によって変化し、固定電極と可動電極からなるコンデンサの静電容量 C_x が変化し、固定電極には電荷 Q_x が蓄積して可動電極は接地しているので、コンデンサの端子間には電圧 $V_{cx} (= Q_x / C_x)$ が発生し、機械力によってその値は変化する。このコンデンサ端子間電圧 V_{cx} の変化量は静電容量 C_x に反比例し、さらに、静電容量 C_x の変化量も固定電極と可動電極の距離の変化量に反比例するため、最終的に、容量電圧変換回路の出力電圧は、機械的な変位に直接関係した量になる。

【0022】固定電極と接地電位の間に寄生容量がある場合、この寄生容量は、機械力によって変化しない容量であり、固定電極と可動電極からなるコンデンサに並列になる。そのため、静電容量 C_x の全体量が増加し、容量電圧変換回路の変換効率を決める比、すなわち静電容量 C_x の変化量と静電容量 C_x の全体量との比が小さくなり、容量電圧変換回路の出力電圧は小さくなる。しかし、本発明による変換装置では、固定電極と基板との間にガード電極を備え、このガード電極を駆動手段によって、固定電極の電圧変化に追従させるように駆動しているため、固定電極とガード電極間には電荷の移動が無く、実効的な静電容量を極めて小さな値にできる。

【0023】さらに、従表面から浸入して固定電極に落ちる電気力線があっても、ガード電極を駆動する緩衝増幅手段の出力インピーダンスが十分に小さければ、この電気力線をガード電極で遮断することができる。これは、基板材料として集積回路基板を用いる場合、薄い絶縁層を介して電気回路の配線が接近するため、特に有効であり、固定電極の下層にも回路を形成した領域を配置することができる。このようにすることで、固定電極の配線距離を短くして寄生容量を低減させ、より高感度に、且つ、より少ない面積で変換装置を製造することができる。

【0024】したがって、この発明によれば、固定電極と基板との間にガード電極を備え、このガード電極を駆動手段によって、固定電極の電圧変化に追従させるように駆動しているため、固定電極とガード電極間の実効的な静電容量を極めて小さな値にできる。

【0025】さらに、ガード電極を駆動する駆動手段の出力インピーダンスを小さくすることで、従表面から浸

入する電気力線をガード電極で遮断することができる。そのため、固定電極に一定の電荷を蓄積して容量を電圧に変換する方法でも、感度の低下を防ぐことができ、スイッチトキャパシタ回路よりも小規模に構成でき、交換された電圧はダイヤフラムの変位に直接関係した量になり、固定電極の下層に回路を配置でき、装置を小型にすることができる。また、スイッチトキャパシタ回路で構成した場合でも、寄生容量が少ないガード電極で他の回路へのスイッチング雑音を遮蔽できる。

【0026】

【発明の実施の形態】本発明の請求項1に記載の発明は、基板の主表面上に形成されたガード電極と、前記ガード電極の上部に形成された絶縁層と、前記絶縁層の上部に形成された固定電極と、前記ガード電極の電位が前記固定電極の電位と等しくなるように前記ガード電極を駆動する緩衝増幅手段とを具備する変換装置であり、固定電極とガード電極間の実効的な静電容量を極めて小さな値にするとともに、従表面から浸入する電気力線をガード電極で遮断するという作用を有する。

【0027】本発明の請求項2に記載の発明は、基板の主表面上に形成されたガード電極と、前記ガード電極の上部に形成された絶縁層と、前記絶縁層の上部に形成された固定電極と、前記ガード電極の電位が前記固定電極の電位と等しくなるように前記ガード電極を駆動する緩衝増幅手段と、前記基板の従表面から主表面に向かう貫通孔と、前記固定電極の上部の領域占有物質を前記貫通孔を介して気相除去して形成された空洞の主表面側を閉じるように形成されたダイヤフラム層とを具備する変換装置であり、固定電極とガード電極間の実効的な静電容量を極めて小さな値にするとともに、従表面から浸入する電気力線をガード電極で遮断するという作用を有する。

【0028】本発明の請求項3に記載の発明は、請求項1、2記載の変換装置において、外部からの電気力線を前記固定電極に導かないように表面全体を覆う導電層を設けたものであり、外部の静電雑音を遮蔽するという作用を有する。

【0029】本発明の請求項4に記載の発明は、請求項1、2記載の変換装置において、前記基板を回路集積された半導体基板とし、前記緩衝増幅手段を前記半導体基板に集積したものであり、装置を小型化するという作用を有する。

【0030】本発明の請求項5に記載の発明は、請求項1、2記載の変換装置において、前記固定電極の上部に電荷を保持したエレクトレット層を設けたものであり、帯電回路を不要とするという作用を有する。

【0031】本発明の請求項6に記載の発明は、請求項1、2記載の変換装置において、絶縁層に取り囲まれた導電層内部に電荷を注入したエレクトレットを、前記固定電極の上部に設けたものであり、蓄積電荷の量を制御

可能として、変位を電圧に変換する感度を可変とするという作用を有する。

【0032】本発明の請求項7に記載の発明は、請求項1、2記載の変換装置において、前記固定電極の電荷を実質的に一定にするバイアス手段を設けたものであり、電源回路により電荷を注入して固定電極の電荷を一定にするという作用を有する。

【0033】本発明の請求項8に記載の発明は、請求項1、2記載の変換装置において、静電容量の検出用の交流信号を前記固定電極に印加する手段を設けたものであり、交流インピーダンスの変化から機械的変位を検出するという作用を有する。

【0034】以下、本発明の実施の形態について、図1～図6を参照しながら、詳細に説明する。

【0035】（第1の実施の形態）本発明の第1の実施の形態は、半導体基板の主表面に固定電極を形成し、固定電極の下層に絶縁層を介してガード電極を設け、ダイヤフラムの層間に可動電極を形成し、ダイヤフラムで空洞を形成し、基板の従表面から空洞に至る基板貫通孔を設け、ガード電極の電位を固定電極の電位と同一にするように駆動する演算増幅器を設けた変換装置である。

【0036】図1と図2は、本発明の第1の実施の形態の変換装置の平面図と製造工程を示す断面図である。この変換装置は、変動する圧力を計測する動圧力センサである。図1は、動圧力センサの平面図であり、主に電極の配置を表すものである。図1のA-A'断面について、製造工程を追って示した断面図が、図2である。

【0037】図1と図2において、基板100は、単結晶シリコンからなる基板である。ガード導電層115は、不純物を拡散して電気伝導度を高めた導電層である。第1絶縁層120は、酸化シリコンなどの材料で形成された絶縁層である。第1導電層110は、電気伝導度の高い金属などの材料で形成された導電層である。141は空洞である。固定電極111は、空洞141の平面領域に第1導電層110で形成された電極である。第3絶縁層130は、酸化シリコンなどの材料で形成された絶縁層である。空洞141の上部には、絶縁性の第1ダイヤフラム層150と、導電性の第2導電層160と、絶縁性の第2ダイヤフラム層170からなるダイヤフラムが形成されている。可動電極161とダイヤフラムは、固定電極の出力端子182とガード電極の出力端子183の部分を除いて、基板100の主表面全域を覆っている。可動電極161は、主表面方向から浸入する電気力線が固定電極111に到達させないようにする遮蔽層になる。190は基板貫通孔である。犠牲層140は、製造工程が終わった時点で無くなってしまいう層である。

【0038】固定電極111は、第1導電層110で形成された固定電極リード112と、固定電極下部接続端子113と、その上部に設けた固定電極接続孔132とを介して、第3導電層180で形成された固定電極の出力端子182に導かれている。可動電極161は、第2導電層160で形成された可

動電極下部接続端子163と、その上部に設けた可動電極接続孔171とを介して、第3導電層180で形成された可動電極の出力端子181に導かれている。ガード電極116は、ガード導電層115で形成されたガード電極リード117と、ガード電極下部接続端子118と、その上部に設けたガード電極接続孔133とを介して、第3導電層180で形成されたガード電極の出力端子183に導かれている。その形状は、基板100の従表面からの電気力線を遮蔽するように、固定電極111と固定電極リード112と固定電極下部接続端子113よりも大きく設定してある。

【0039】次に、図2を参照しながら、第1の実施の形態の変換装置の製造方法を説明する。単結晶シリコンからなる基板100の主表面（図面上側）の浅い部分に不純物を拡散して、導電性を持ったガード電極116と、ガード電極リード117と、ガード電極下部接続端子118を形成する。その後、主表面全体に酸化シリコンなどの第1絶縁層120を形成する。その上に、クロムなどの第1導電層110を堆積して、固定電極111と、固定電極リード112と、固定電極下部接続端子113を形成する。その後、主表面全体に酸化シリコンなどの第3絶縁層130を形成する（図2a）。

【0040】基板の主表面全体に、ポリイミドなどの有機系の犠牲層材料を塗布した後、空洞領域以外の犠牲層材料を除去して、犠牲層140を形成する（図2b）。主表面全体に窒化シリコンなどの第1ダイヤモンド層150を形成する。さらにその上に、クロムなどの第2導電層160を堆積して、固定電極の出力端子182およびガード電極の出力端子183の領域を除去して、可動電極161および可動電極下部接続端子163を含んだ遮蔽層を形成する（図2c）。主表面全体に窒化シリコンなどの第2ダイヤモンド層170を形成する（図2d）。

【0041】固定電極下部接続端子113および可動電極下部接続端子163およびガード電極下部接続端子118に至る孔を、第2ダイヤモンド層170から明ける。主表面全体にクロムなどの第3導電層180を堆積して、可動電極の出力端子181および固定電極の出力端子182およびガード電極の出力端子183の領域以外の第3導電層180を除去する（図2e）。

【0042】犠牲層140の領域の中心部に、従表面（図面下側）から主表面に向けた基板100を貫通して犠牲層140に至る基板貫通孔190を形成する（図2f）。プラズマ励起させた酸素主成分のガスにより、従表面の基板貫通孔190を介して、犠牲層140を等方的に気相除去し、第3絶縁層130と第1ダイヤモンド層150の間に空洞141を形成する（図2g）。

【0043】図1に示した第1の実施の形態の変換装置の各部の寸法の例を示す。空洞141の直径と厚みは、それぞれ1800 μm と5 μm である。基板貫通孔190の直径は100 μm である。第1ダイヤモンド層150と第2ダイヤモンド層170とからなるダイヤモンドの厚みは2 μm であ

る。

【0044】次に、第1の実施の形態の変換装置における容量電圧変換回路の構成を説明する。図3は、図1の動圧力センサの容量電圧変換回路の構成を表した図であり、図1と同じ番号を付与したものは同じものである。 C_x は、固定電極111と可動電極161で形成されたコンデンサで、静電容量は C_x である。 C_{gx} は、固定電極111とガード電極116で形成されたコンデンサで、静電容量 C_{gx} を有する。 A_2 は演算増幅器で、固定電極111の電位を緩衝増幅して、ガード電極116の電位が固定電極111の電位と同一になるように動作する。抵抗 R_b および電圧源 V_b は、固定電極111に一定の電荷を与えるバイアス手段である。抵抗 R_b とコンデンサ C_x の時定数 $R_b \cdot C_x$ が、計測する動圧力の変化周期の最長周期よりも長くなるように設定する。これにより、動圧力センサの計測周期範囲では、コンデンサ C_x の電荷 Q_x は、ダイヤモンドの変動があっても、電荷が一定であると見なすことができるようになる。なお、 E_α は変換装置の電圧出力端子である。

【0045】以下、第1の実施の形態の変換装置の動作を説明する。基板100の従表面には、被計測圧力空間から抵抗の大きな導入管を介して、計測周期範囲よりも短い周期の動圧力が導入されるように構成してある。計測周期範囲では、基板100の従表面に印加される圧力は、被計測圧力空間の静圧力が印加されていると考えて良い。そのため、第1および第2ダイヤモンド層からなるダイヤモンドには、基板100の従表面側から被計測圧力空間の変化を平均化した静圧力が加わり、主表面側から動圧力と静圧力からなる圧力が加わるため、このダイヤモンドは、これらの差の圧力に応じて変形する。すなわち、このダイヤモンドには、従表面からの静圧力によってダイヤモンドと固定電極の距離を広げる方向の力と、主表面から印加される動圧力と静圧力からなる圧力によってダイヤモンドと固定電極の距離を近づける方向の力が加わり、その差である動圧力の分だけダイヤモンドを変形させる。その結果、ダイヤモンド上に形成された可動電極と固定電極からなるコンデンサ C_x の静電容量 C_x は、その変形に応じた値に変化する。

【0046】固定電極111には、電圧源 V_b から抵抗 R_b を介して電圧が印加され、電荷 Q_x が蓄積されている。この電荷 Q_x の大きさは $C_x \cdot V_b [C]$ で、印加動圧力が変化して静電容量 C_x が変化しても、時定数 $R_b \cdot C_x$ がこの変化よりも大きいので、電荷は移動せずに、この量を保つ。そのため、この静電容量 C_x の変化は、コンデンサ C_x の端子電圧 $V_{cx} (= Q_x / C_x)$ として現れる。この電圧 V_{cx} を高入力インピーダンスの演算増幅器 A_2 からなる駆動手段で受け取り、低出力インピーダンスの電圧 E_α として出力し、同時に、ガード電極116を駆動する。このように構成すると、固定電極111とガード電極161は同電位になるため、この間には電荷の移動が無いの

で、静電容量 C_{qx} を持つコンデンサ C_{qx} であっても、静電容量 C_x の変化に対するコンデンサ C_{qx} の影響をほとんどゼロとすることができる。

【0047】このような動圧力センサにおいて、差圧がゼロの時の可動電極161と固定電極111の間隙を L_1

〔m〕とし、電極の有効面積を S_d 〔m²〕とすると、その静電容量 C_{x1} は、 $C_{x1} = \epsilon \cdot S_d / L_1$ となる。ただし、 ϵ は誘電率であり、ここでは、誘電率の異なる層の存在を無視している。このコンデンサ C_x の端子電圧 V_{cx} が V_b になるように、電圧源 V_b からバイアスを与えられているため、コンデンサ C_x の電荷は、 $C_{x1} \cdot V_b = V_b \cdot \epsilon \cdot S_d / L_1 \equiv Q_{x1}$ となる。

【0048】一方、コンデンサ C_{qx} の電荷は、固定電極111とガード電極116の電位差がゼロであるため、ゼロになる。いま、ダイヤフラムに圧力が印加され、可動電極161と固定電極111の間隙が L_2 〔m〕に変化した場合、コンデンサ C_x の静電容量は

$$\epsilon \cdot S_d / L_2 \equiv C_{x2}$$

となる。

【0049】一方、固定電極111とガード電極116の電位差がそのままゼロに制御されていてコンデンサ C_{qx} への電荷移動が無いため、電荷 Q_x の値は変化しない。そのため、コンデンサ C_x の端子電圧は、

$$Q_{x1} / C_{x2} = (V_b \cdot \epsilon \cdot S_d / L_1) / (\epsilon \cdot S_d / L_2) \equiv V_{cx2}$$

となり、間隙の変化による端子電圧の変化は、 $V_{cx2} - V_b = (L_2 - L_1) / L_1 \cdot V_b$ となる。

【0050】したがって、コンデンサ C_x の端子電圧 V_{cx2} を緩衝増幅する演算増幅器A2で低インピーダンス化して、これを電圧計で計測することで、ダイヤフラムの変位に関係した電圧が変換装置の出力に得られる。

【0051】いま、演算増幅器A2により駆動されたガード電極183が無く、固定電極111の下に第2絶縁層120を介して接地された基板100がある場合を考える。この場合、図3の回路ではガード電極116が接地されたようになり、コンデンサ C_x とコンデンサ C_{qx} は並列接続された状態になる。この並列コンデンサ C_x および C_{qx} にはバイアス V_b が印加されているため、コンデンサ並列コンデンサ C_x および C_{qx} に蓄積される電荷は、

$$(C_{x1} + C_{qx}) V_b = (\epsilon \cdot S_d / L_1 + C_{qx}) V_b \equiv Q_{x3}$$

【0052】この状態で、ダイヤフラムに圧力が印加され、可動電極161と固定電極111の間隙が L_2 〔m〕に変化した場合、コンデンサ C_x とコンデンサ C_{qx} の静電容量は、

$$\epsilon \cdot S_d / L_2 + C_{qx} = C_{x3}$$

となり、電荷の総量は変化しないので、並列コンデンサ C_x および C_{qx} の端子電圧は、

$$Q_{x3} / C_{x3} = (\epsilon \cdot S_d / L_1 + C_{qx}) V_b / (\epsilon \cdot S_d / L_2 + C_{qx}) \equiv V_{cx3}$$

となり、間隙の変化による端子電圧の変化は、

$$V_{cx3} - V_b = ((L_2 - L_1) / L_1) \cdot (\epsilon \cdot S_d / L_2 / (\epsilon \cdot S_d / L_2 + C_{qx})) \cdot V_b$$

となる。

【0053】この値は、コンデンサ C_{qx} が影響しない値 $V_{cx2} - V_b = (L_2 - L_1) / L_1 \cdot V_b$

と対比すると、 $(\epsilon \cdot S_d / L_2) / (\epsilon \cdot S_d / L_2 + C_{qx})$ の項が増えていることが分かる。この項は、コンデンサ C_{x2} とコンデンサ C_{qx} とで構成された分圧回路の利得を表しており、コンデンサ C_{qx} が大きくなると、間隙の変化による端子電圧の変化の割合が小さくなり、感度が低下することを意味している。

【0054】このように、固定電極111と基板100との間にガード電極116を設け、このガード電極116を駆動手段A2によって、固定電極111の電圧変化に追従させるように駆動しているため、固定電極111とガード電極116との間の実効的な静電容量を極めて小さな値にできる。その結果、微小な容量変化を検出することが可能な、静電容量検出型の変換装置を構成することができる。

【0055】さらに、固定電極111と基板100との間に低インピーダンスのガード電極116があるため、基板100の従表面方向から到来する電気力線から固定電極111を遮蔽することができる。そのため、固定電極111に一定の電荷を蓄積して容量を電圧に変換する変換装置でも、感度の低下を防ぐことができ、スイッチトキャパシタ回路よりも小規模に構成でき、変換された電圧はダイヤフラムの変位に直接関係した量を検出することができるようになる。さらに、固定電極111の下層に回路を配置でき、装置を小型にできる。スイッチトキャパシタ回路で構成した場合でも、ガード電極116により寄生容量を少なくできる。かつ、他の回路へのスイッチング雑音を遮蔽する機能を有する。

【0056】なお、第1の実施の形態においては、固定電極111の電荷生成の方法として、抵抗を介して直流電圧を印加しているが、これは、他の方法であっても良く、例えば、エレクトレットのような外部からのバイアスなしで電荷を蓄積する材料および電荷蓄積工程を経たものでも良い。この場合、直流電圧源が不要になり、かつ、装置に供給する電源電圧の制約を受けることなく、大きな電圧値に設定でき、変位を電圧に変換する感度を高める利点がある。材料によるエレクトレットのほかに、導電層を絶縁層で取り囲んだ構造を形成し、この絶縁層をすり抜けて導電層に至るトンネル電流を流す手段を設け、絶縁物で囲まれた導電層に電荷を蓄積させるようにしたエレクトレットであっても良い。この場合、蓄積電荷の量が制御しやすいため、変位を電圧に変換する感度を自由に設定できる。

【0057】また、第1の実施の形態においては、ガー

ド電極115を基板100に不純物を拡散して導電性を高めた拡散層で形成し、固定電極110を金属などの材料で形成し、第1絶縁層120でこれらを絶縁する構成になっているが、これは、ガード電極と固定電極が絶縁されていれば良く、バイポーラ集積回路のような接合分離であっても良い。接合分離は、分離したい領域どうしの不純物を逆極性にして、そのpn接合を逆バイアスする方向にバイアスを印加し、これにより生じた空乏層を絶縁層に利用するもので、例えば、p型シリコン基板全体をガード電極とし、その表面にn型不純物を拡散した固定電極を形成し、常に、固定電極の電位をガード電極よりも高くなるように、演算増幅器A2で駆動するようにすれば良い。この場合、空乏層の厚みが非常に薄くなり、寄生容量が大きくなる問題があるが、駆動手段によって、ガード電極の電位変化を固定電極の電位変化と同一になるように駆動しているため、寄生容量を極めて小さくすることができる。このような構成にすると、第1の実施の形態における第1導電層110の形成は必要なくなる。

【0058】上記のように、本発明の第1の実施の形態では、変換装置に、固定電極の下層に絶縁層を介してガード電極を設け、ガード電極の電位を固定電極の電位と同一にする演算増幅器を設けたので、固定電極を遮蔽して微小な容量変化を検出でき、感度の低下を防ぐことができるとともに、ダイヤモンドの変位に直接関係した量を検出できる。

【0059】(第2の実施の形態) 本発明の第2の実施の形態は、半導体基板の従表面の貫通孔を介して犠牲層を等方的に気相除去させて空洞を形成し、固定電極および基準固定電極と基板との間にガード電極と、ガード電極の電位を固定電極の電圧に追従させる緩衝増幅装置と、スイッチトキャパシタ回路で構成された容量電圧変換回路とを設けた変換装置である。

【0060】図4と図5は、本発明の第2の実施の形態の変換装置の平面図と製造工程を示す断面図である。この変換装置は、変動する圧力を計測する動圧力センサである。図1に示した動圧力センサとは、ダイヤモンドおよびガード電極を形成する方法が異なる。図4は、動圧力センサの平面図であり、主に電極の配置を表した図である。図4のA-A'断面について、製造工程を追って断面図を示したものが、図5である。図4と図5において、100は単結晶シリコンからなる基板である。115は電気伝導度の高い金属などの材料で形成されたガード導電層である。120および125は、酸化シリコンなどの材料で形成された第1絶縁層および第2絶縁層である。110は電気伝導度の高い金属などの材料で形成された第1導電層である。141は空洞である。111は空洞141の平面領域に第1導電層110で形成された固定電極である。130は酸化シリコンなどの材料で形成された第3絶縁層である。空洞141の上部には、導電性の第1ダイヤモンド層155からなるダイヤモンドが形成されている。161は可動電極

である。ダイヤモンドと可動電極は、固定電極の出力端子182とガード電極の出力端子183の部分を除いて、基板100の主表面全域を覆っている。可動電極は、主表面方向から浸入する電気力線が固定電極111に到達させないようにする遮蔽層になる。190は基板貫通孔である。140は、製造工程が終わった時点でダイヤモンド周囲を残して無くなってしまふ犠牲層である。

【0061】次に、図5を用いて、第2の実施の形態の変換装置の製造方法を説明する。単結晶シリコンからなる基板100の主表面(図面上側)に酸化シリコンなどの第1絶縁層120を形成する。その後、その表面に導電性を持った材料を堆積して、導電性を持ったガード電極116、ガード電極リード117、ガード電極下部接続端子118を形成する。主表面全体に酸化シリコンなどの第2絶縁層125を形成する。その上に、クロムなどの第1導電層110を堆積して、固定電極111、固定電極リード112、固定電極下部接続端子113を形成する(図5a)。

【0062】主表面全体に酸化シリコンなどの第3絶縁層130を形成する(図5b)。その主表面全体に、ポリイミドなどの有機系の犠牲層材料を塗布した後、空洞領域以外の犠牲層材料を除去して、犠牲層140を形成する(図5c)。その主表面全体に、アルミニウムを主とする合金からなる導電性の第1ダイヤモンド層155を形成する。その後、固定電極の出力端子182およびガード電極の出力端子183の領域を除去して、可動電極161および可動電極下部接続端子163を含んだ遮蔽層を形成する(図5d)。

【0063】固定電極下部接続端子113および可動電極下部接続端子163およびガード電極下部接続端子118に至る孔を第3絶縁層130からあけ、その主表面全体にクロムなどの第3導電層180を堆積して、可動電極の出力端子181および固定電極の出力端子182およびガード電極の出力端子183の領域以外は除去する(図5e)。

【0064】犠牲層140の領域の中心部に従表面(図面下側)から主表面に向けた基板100を貫通して犠牲層140に至る基板貫通孔190を形成する(図5f)。プラズマ励起させた酸素主成分のガスにより、従表面の基板貫通孔190を介して、犠牲層140を等方的に気相除去し、第3絶縁層130と導電性の第1ダイヤモンド層155の間に空洞141を形成する。その際、犠牲層140は完全に除去するのではなく、ダイヤモンド周辺部に少し残るように処理時間を管理する(図5g)。

【0065】次に、第2の実施の形態の変換装置における容量電圧変換回路の構成を説明する。図6は、図4に示した動圧力センサに用いる容量電圧変換回路の構成を示す図である。図9に示した従来の容量電圧変換回路と同様のスイッチトキャパシタ回路で構成されたものである。従来例とは、固定電極111と接地された基板100との間のガード電極116および演算増幅器A2が設けられた点で異なっている。すなわち、演算増幅器A2は、(-)

端子と出力端子が接続されたボルテージフォロアを構成して、(+) 端子に印加された電圧と同じ大きさの電圧が出力端子に現れ、ガード電極116を駆動するように接続されている。なお、図3および図9と同じ番号を付与したものは、これらと同じものである。図示されていない基準コンデンサも、犠牲層の除去を実施しない、同様の構造体である。各スイッチの動作や各コンデンサの電荷の移動状態についても、図9に示した従来例と同じである。

【0066】SWr、SWx、SWf、SWoは、それぞれ電圧制御型スイッチであり、クロック電圧源VckがHレベルの時に上側接点に、Lレベルの時に下側接点に接続される。これらのスイッチは連動して、上側接点接続と下側接点接続を繰り返すように構成されている。Vbはバイアス電圧源、A1は演算増幅器、Cfは帰還コンデンサ、Coはリップル平滑用の出力コンデンサ、Eoは出力電圧である。Cxは、可動電極161と固定電極111がなすコンデンサ、Crは、基準電極51と基準固定電極50がなすコンデンサ、CqxおよびCqrは、それぞれ固定電極111とガード電極116および基準固定電極50とガード電極116がなすコンデンサである。演算増幅器A1の開ループ利得が非常に大きいので、演算増幅器の(-) 入力端子の電位は、その(+) 端子の電位と等しくなる。そのため、固定電極111の出力端子の電位は、接地電位になる。

【0067】次に、第2の実施の形態の変換装置における容量電圧変換回路の具体的な動作を説明する。クロック電圧源VckがLからHに変化すると、SWr、SWx、SWf、SWoが、それぞれ上側接点に接続される。電荷の移動が完了した時刻において、コンデンサCrの基準電極51と基準固定電極50の電位は、ともに接地電位なので、コンデンサCrの蓄積電荷はゼロである。一方、コンデンサCxの可動電極351の電位は電圧源Vbの電圧Vbであり、固定電極111の電位は接地電位なので、コンデンサCxの蓄積電荷Qxは、 $Cx \cdot Vb$ となる。コンデンサCfの2つの端子はスイッチSWfで短絡されているため、端子の電位はともに固定電極の出力端子182と同じになり、コンデンサCfの蓄積電荷はゼロである。

【0068】容量電圧変換回路の出力電圧Eoは、コンデンサCoが演算増幅器A1の出力から切り離されているため、電圧源VckがLであった最後の時刻に蓄積された電荷に応じた電位を保持している。また、コンデンサCqxおよびCqrも、ガード電極116の電位が、固定電極111および基準固定電極50の電位と同一になるように、演算増幅器A2によって制御されているため、その蓄積電荷はゼロになる。

【0069】電圧源VckがHからLに変化すると、SWr、SWx、SWf、SWoが、それぞれ下側接点に接続される。電荷の移動が完了した時刻において、コンデンサCxの端子間電圧はゼロになるため、蓄積電荷がゼロに

なる方向に、演算増幅器A1の(-) 入力端子から固定電極111に向けて(+) 電荷が移動する。一方、コンデンサCrの端子間電圧はVbになるため、ゼロだった電荷が蓄積電荷Qr($=Cr \cdot Vb$)になる方向に、固定電極111から演算増幅器A1の(-) 入力端子に向けて(+) 電荷が移動する。これらの電荷は、スイッチSWfが開であるため、コンデンサCfに蓄積され、その電荷の大きさは、

$$Qr - Qx = Cr \cdot Vb - Cx \cdot Vb = Vb (Cr - Cx)$$

となる。

【0070】したがって、コンデンサCfの端子間電圧Vcfは、

$$Vcf = Vb (Cr - Cx) / Cf$$

となる。そして、演算増幅器A1の(-) 入力端子に接続されたコンデンサCfの一端がゼロ電位であることから、容量電圧変換回路の出力電圧Eoは、極性が反転し、

$$Eo = Vb (Cx - Cr) / Cf$$

となる。コンデンサCoはこの電位に対応する電荷を蓄積する。コンデンサCqxおよびCqrの各端子は依然として、同じ電位に制御されているため、蓄積電荷はゼロであり、電荷移動の作用にはほとんど影響しない。

【0071】この電荷の移動の際、演算増幅器A1のスルーレイトなどに由来する応答速度が遅い場合、接地電位になっているはずの演算増幅器A1の端子には、スパイク状の電圧が発生する。これは、本来、演算増幅器A1の出力電圧を速く変化させることで、(-) 端子に流れ込んだ電荷を速やかに帰還コンデンサCfに蓄積させ、(-) 端子の電位を変化させない動作をするのであるが、一般に、この応答に限界があるため、一時的に電荷が溢れ、(-) 端子の電位を瞬間的に持ち上げる(下げる)ことがよくある。この溢れた電荷は、固定電極111および基準固定電極50に付随する寄生容量に一時的に蓄積されるが、時間の経過とともに、帰還コンデンサCfに集積される。

【0072】このように、電圧源VckがHの期間は、コンデンサCxに電荷を蓄積し、且つ、コンデンサCfの電荷をゼロとし、且つ、直前の電圧源VckがLの期間の値を出力電圧Eoとして出力する。そして、電圧源VckがLの期間は、コンデンサCxの電荷をゼロとし、且つ、コンデンサCfに電荷を蓄積し、且つ、

$$Eo = Vb (Cx - Cr) / Cf$$

なる値を出力電圧Eoとして出力する。そして、出力電圧Eoの値は、図4と図5のように形成された可動電極161と固定電極111の距離の逆数に関係し、その距離は、導電性の第1ダイヤフラム層155からなるダイヤフラムに印加された圧力に関係する。したがって、ダイヤフラムに印加された圧力の逆数に関係した出力電圧Eoが出力される静電型圧力センサを構成することができる。

【0073】図6に示した容量電圧変換回路では、圧力

センサの主表面側に面した可動電極161および基準電極51には、スイッチで切り替えられてはいるものの、いつでも電圧源が接続される。そのため、外部雑音源からの電気力線が圧力センサに落ちても、その電荷は電圧源を介して接地されるため、固定電極に迷い込むことが無く、静電的な雑音に対する遮蔽効果を有している。さらに、基板100の従表面からの電気力線は、演算増幅器A2により低インピーダンスで駆動されているガード電極116に落ちるため、固定電極111および基準固定電極50に達することがなく、従表面からの雑音を阻止することができる。したがって、従来の圧力センサのような、静電的遮蔽を考慮した容器に收容する必要がなくなり、装置を小型に構成することができる。

【0074】このように、固定電極111および基準固定電極50と基板100との間にガード電極116を設け、このガード電極116を駆動手段A2によって、固定電極111の電圧変化に追従させるように駆動しているため、固定電極111および基準固定電極50とガード電極116との間の実効的な静電容量を極めて小さな値にできる。その結果、微小な容量変化を検出することが可能な、静電容量検出型の交換装置を構成することができる。

【0075】さらに、固定電極111および基準固定電極50と基板100との間に低インピーダンスのガード電極116があるため、基板100の従表面方向から到来する電気力線から固定電極111および基準固定電極50を遮蔽することができる。さらに、固定電極111の下層に回路を配置でき、装置を小型にすることができる。

【0076】なお、第1、2の実施の形態において、容量電圧変換回路には、電荷一定にして高インピーダンス回路でその端子電圧を測定する方法と、変位量に関連した量の電荷の移動または蓄積によって電圧に変換するスイッチトキャパシタ回路による方法を例にしたが、これは、他の容量検出方法であっても良く、例えば、周波数の高い交流電圧（電流）を印加して、それに対応した電流（電圧）を計測する方法や、外部にインダクタを設けて共振回路を形成し、その共振周波数の変化を容量変化に対応させる方法であっても良い。これらの場合でも、高い周波数の他への放散は、電子回路の正常な動作を阻害する原因となるため、遮断した方が望ましく、また、僅かな容量変化の計測を阻害するような寄生容量は小さい方が感度を高めることができる。

【0077】また、第1、2の実施の形態では、犠牲層を除去することでダイヤフラムを形成しているが、ダイヤフラムの形成方法は、これに限られることはない。例えば、固定電極と容量電圧変換回路などを備えた基板と、ダイヤフラムとその支持部を形成した構造体を張り合わせるものであっても良い。このような場合でも、駆動手段を用いてガード電極を駆動することで、寄生容量の低減や従表面からの静電的な遮蔽など、上記第1、2の実施の形態で述べたような機能を有する交換装置を構

成することができる。

【0078】また、第1、2の実施の形態では、圧力センサに応用した変換装置について説明しているが、他の種類の変位を静電容量で検出する変換装置に適用した場合でも、第1、2の実施の形態で述べたような機能を有する変換装置を構成することができる。

【0079】また、第1、2の実施の形態では、高インピーダンスの固定電極と、この電極に対向する低インピーダンスの可動電極を使用しているが、この機械的な固定または可動の区別が逆になってもよい。例えば、高インピーダンスの可動電極と、この電極に対向する低インピーダンスの固定電極とで構成してもよい。この構成は、機械的可動部分の材料がシリコンであって、この材料の上に駆動手段を組み込むのが適切な場合に有効である。

【0080】また、第1、2の実施の形態における図1および図4において、固定電極の出力端子182の周囲の3方向（図の上、左、下方向）に、基板主表面の静電的な遮蔽に供する第2導電層160および導電性の第1のダイヤフラム層が巡らされているが、これは、固定電極の出力端子182の周囲の4方向すべてを取り囲むようにしても良く、この場合、固定電極の表面からのリーク電流を防ぎ、かつ、平面方向の寄生容量を低減できる。

【0081】上記のように、本発明の第2の実施の形態では、変換装置を、固定電極および基準固定電極と基板との間にガード電極を設け、固定電極の電位に追従するようにガード電極を駆動する緩衝増幅器を設けた構成としたので、固定電極および基準固定電極を遮蔽することができ、微小な容量変化を検出できる。

【0082】

【発明の効果】以上のように、本発明では、ガード電極を設けて、固定電極の電圧変化に追従させる構成としたので、固定電極と基板の間の寄生容量を等価的に小さくすることができ、容量電圧変換感度を高くすることができるという効果が得られる。

【0083】また、ガード電極を駆動する駆動手段の出力インピーダンスを小さくしたので、基板の従表面から到来する電気力線から固定電極を遮蔽することができ、装置外からの静電的な雑音による被害を少なくすることができるとともに、装置単体で静電遮蔽ができるため、外部の遮蔽容器が不要になり、より小型な変換装置を構成することができるという効果が得られる。

【0084】また、ガード電極を設けて寄生容量を小さくしたことにより、固定電極の電荷を一定にして容量を電圧に変換する回路を利用して、ダイヤフラムの変位に直接関係した出力を取り出せるという効果が得られる。

【0085】また、ガード電極を設けたことにより、スイッチング雑音を遮蔽できるので、スイッチトキャパシタ回路の利用が可能となるという効果が得られる。

【0086】また、ガード電極を設けたことにより、高

周波雑音を遮蔽できるので、高い周波数を用いる容量電圧変換方式の利用が可能となるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態の変換装置の平面図、

【図 2】第 1 の実施の形態の変換装置の製造工程を示す断面図、

【図 3】第 1 の実施の形態の変換装置の容量電圧変換回路の回路図、

【図 4】本発明の第 2 の実施の形態の変換装置の平面図、

【図 5】第 2 の実施の形態の変換装置の製造工程を示す断面図、

【図 6】第 2 の実施の形態の変換装置の容量電圧変換回路の回路図、

【図 7】従来の変換装置（圧力センサ）の平面図、

【図 8】従来の変換装置（圧力センサ）の製造工程を示す断面図、

【図 9】従来の変換装置（圧力センサ）の容量電圧変換回路の回路図である。

【符号の説明】

10 エッチング薬液の導入孔

20 圧力基準室

30 封止キャップ

50 基準固定電極

51 基準電極

82 可動電極リード

100 基板

110 第 1 導電層

111 固定電極

112 固定電極リード

113 固定電極下部接続端子

116 ガード電極

115 ガード導電層

117 ガード電極リード

118 ガード電極下部接続端子

120 第 1 絶縁層

125 第 2 絶縁層

130 第 3 絶縁層

132 固定電極接続孔

133 ガード電極接続孔

140 犠牲層

141 空洞

150 第 1 ダイヤフラム層

155 導電性の第 1 ダイヤフラム層

160 第 2 導電層

161 可動電極

163 可動電極下部接続端子

170 第 2 ダイヤフラム層

171 可動電極接続孔

180 第 3 導電層

181 可動電極の出力端子

182 固定電極の出力端子

183 ガード電極の出力端子

190 基板貫通孔

A1 演算増幅器

20 A2 演算増幅器

Cf 帰還コンデンサ

Cgr 基準固定電極とガード電極がなすコンデンサ

Cgx 固定電極とガード電極がなすコンデンサ

Co 平滑コンデンサ

Cr 基準電極と基準固定電極がなすコンデンサ

Csr 基準コンデンサの固定電極と基板がなすコンデンサ

Csx 固定電極と基板がなすコンデンサ

Cx 可動電極と固定電極がなすコンデンサ

30 Eo 出力電圧

Rb バイアス抵抗

SWf スイッチ

SWo スイッチ

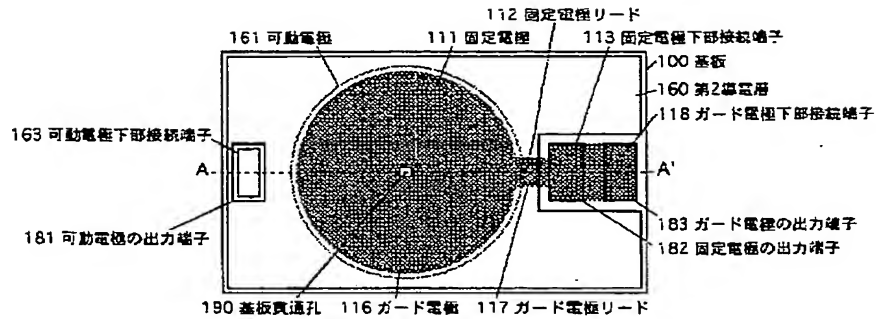
SWr スイッチ

SWx スイッチ

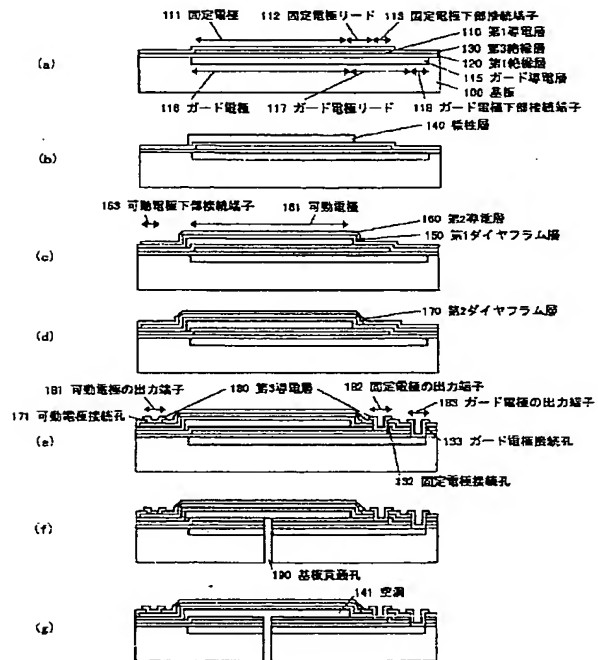
Vb バイアス電圧源

Vck クロック電圧源

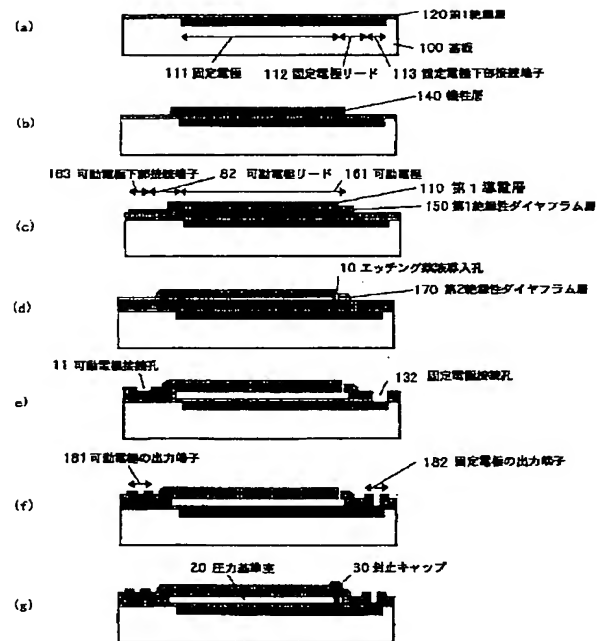
【図1】



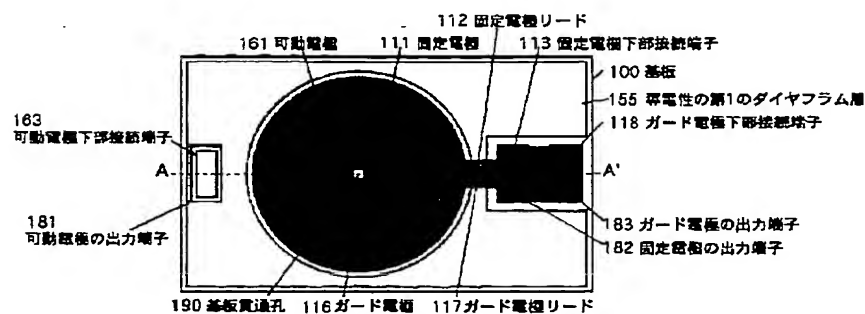
【図2】



【図8】



【図4】



111 固定電極

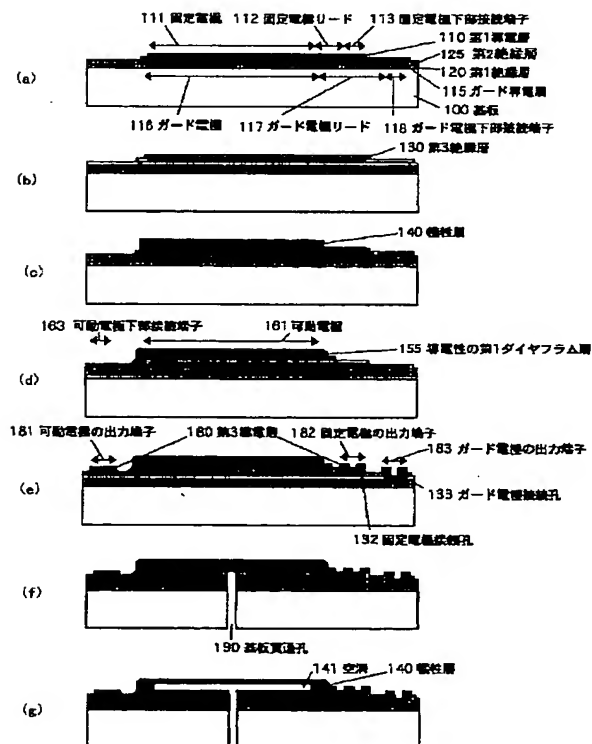


Figure 1 is a schematic diagram of a differential amplifier circuit. The circuit includes a differential pair of transistors (A1, A2) with a common source resistor (Cg). The gates of A1 and A2 are connected to a common gate node (Cg) which is biased by a current source (Cg). The drains of A1 and A2 are connected to a common drain node (Cd) which is biased by a current source (Cd). The gates of A1 and A2 are also connected to a common gate node (Cg) which is biased by a current source (Cg). The drains of A1 and A2 are connected to a common drain node (Cd) which is biased by a current source (Cd). The gates of A1 and A2 are also connected to a common gate node (Cg) which is biased by a current source (Cg). The drains of A1 and A2 are connected to a common drain node (Cd) which is biased by a current source (Cd).

Figure 1 is a cross-sectional view of a pressure base (20). The diagram shows a central circular region representing the pressure base. Surrounding this are two concentric rings: the inner ring is the movable electrode (161) and the outer ring is the fixed electrode (111). The entire assembly is mounted on a base plate (100). A stop cap (30) is positioned on top of the base plate. The fixed electrode (111) is connected to a fixed electrode lead (112) and a fixed electrode lower connection terminal (113), which leads to a fixed electrode output terminal (182). The movable electrode (161) is connected to a movable electrode lead (82) and a movable electrode lower connection terminal (163), which leads to a movable electrode output terminal (161). A dashed line A-A' indicates a cross-section through the center of the electrodes.

【手続補正書】

【提出日】平成10年9月4日(1998.9.4)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項1

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項1】 基板の主表面上に形成されたガード電極と、前記ガード電極の上部に形成された絶縁層と、前記絶縁層の上部に形成された固定電極と、前記ガード電極の電位変化が前記固定電極の電位変化と等しくなるように前記ガード電極を駆動する緩衝増幅手段とを具備することを特徴とする変換装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項2

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項2】 基板の主表面上に形成されたガード電極と、前記ガード電極の上部に形成された絶縁層と、前記絶縁層の上部に形成された固定電極と、前記ガード電極の電位変化が前記固定電極の電位変化と等しくなるように前記ガード電極を駆動する緩衝増幅手段と、前記基板の従表面から主表面に向かう貫通孔と、前記固定電極の上部の領域占有物質を前記貫通孔を介して気相除去して形成された空洞の主表面側を閉じるように形成されたダイヤフラム層とを具備することを特徴とする変換装置。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項6

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項6】 絶縁層に取り囲まれた導電層内部に電荷を注入して成るエレクトレットを、前記固定電極の上部に設けたことを特徴とする請求項1、2記載の変換装置。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正内容】

【0012】次に、クロック電圧源 V_{ck} がHからLに変化し、 SW_r 、 SW_x 、 SW_f 、 SW_o が、それぞれ下側接点に接続されると、コンデンサ C_x の端子間電圧はゼロになるため、蓄積電荷がゼロになる方向に、演算増幅器A1の(-)入力端子から固定電極111に向けて(+)電荷が移動する。一方、コンデンサ C_r の端子間電圧は V_b になるため、ゼロだった電荷が蓄積電荷 $Q_r (= C_r \cdot V_b)$ になる方向に、固定電極111から演算増幅器A1の(-)入力端子に向けて(+)電荷が移動する。これら

の電荷は、スイッチ SW_f が開であるため、コンデンサ C_f に蓄積され、その電荷の大きさは、

$$Q_r - Q_x = C_r \cdot V_b - C_x \cdot V_b = V_b (C_r - C_x)$$

となる。したがって、コンデンサ C_f の端子間電圧 V_{cf} は、

$$V_{cf} = V_b (C_r - C_x) / C_f$$

となる。そして、演算増幅器A1の(-)入力端子に接続されたコンデンサ C_f の一端がゼロ電位であることから、容量電圧変換回路の出力電圧 E_o は、極性が反転し、

$$E_o = V_b (C_x - C_r) / C_f$$

となる。コンデンサ C_o は、この電位に対応する電荷を蓄積する。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正内容】

【0018】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するために、本発明では、変換装置を、基板の主表面上に形成されたガード電極と、ガード電極の上部に形成された絶縁層と、絶縁層の上部に形成された固定電極と、ガード電極の電位変化が固定電極の電位変化と等しくなるようにガード電極を駆動する緩衝増幅手段とを具備する構成とした。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正内容】

【0020】また、変換装置を、基板の主表面上に形成されたガード電極と、ガード電極の上部に形成された絶縁層と、絶縁層の上部に形成された固定電極と、ガード電極の電位変化が固定電極の電位変化と等しくなるようにガード電極を駆動する緩衝増幅手段と、基板の従表面から主表面に向かう貫通孔と、固定電極の上部の領域占有物質を貫通孔を介して気相除去して形成された空洞の主表面側を閉じるように形成されたダイヤフラム層とを具備する構成とした。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

【0022】固定電極と接地電位の間に寄生容量がある場合、この寄生容量は、機械力によって変化しない容量であり、固定電極と可動電極からなるコンデンサに並列になる。そのため、静電容量 C_x の全体量が増加し、容

量電圧変換回路の変換効率を決める比、すなわち静電容量 C_x の変化量と静電容量 C_x の全体量との比が小さくなり、容量電圧変換回路の出力電圧は小さくなる。しかし、本発明による変換装置では、固定電極と基板との間にガード電極を備え、このガード電極を緩衝増幅手段によって、固定電極の電圧変化に追従させるように駆動しているため、固定電極とガード電極間には電荷の移動が無く、実効的な静電容量を極めて小さな値にできる。

【手続補正 8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】さらに、ガード電極を駆動する緩衝増幅手段の出力インピーダンスを小さくすることで、従表面から浸入する電気力線をガード電極で遮断することができる。そのため、固定電極に一定の電荷を蓄積して容量を電圧に変換する方法でも、感度の低下を防ぐことができ、スイッチトキャパシタ回路よりも小規模に構成でき、変換された電圧はダイヤフラムの変位に直接関係した量になり、固定電極の下層に回路を配置でき、装置を小型にすることができる。また、スイッチトキャパシタ回路で構成した場合でも、寄生容量が少ないガード電極で他の回路へのスイッチング雑音を遮蔽できる。

【手続補正 9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正内容】

【0026】

【発明の実施の形態】本発明の請求項 1 に記載の発明は、基板の主表面上に形成されたガード電極と、前記ガード電極の上部に形成された絶縁層と、前記絶縁層の上部に形成された固定電極と、前記ガード電極の電位変化が前記固定電極の電位変化と等しくなるように前記ガード電極を駆動する緩衝増幅手段とを具備する変換装置であり、固定電極とガード電極間の実効的な静電容量を極めて小さな値にするとともに、従表面から浸入する電気力線をガード電極で遮断するという作用を有する。

【手続補正 10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0027

【補正方法】変更

【補正内容】

【0027】本発明の請求項 2 に記載の発明は、基板の主表面上に形成されたガード電極と、前記ガード電極の上部に形成された絶縁層と、前記絶縁層の上部に形成された固定電極と、前記ガード電極の電位変化が前記固定電極の電位変化と等しくなるように前記ガード電極を駆動する緩衝増幅手段と、前記基板の従表面から主表面に

向かう貫通孔と、前記固定電極の上部の領域占有物質を前記貫通孔を介して気相除去して形成された空洞の主表面側を閉じるように形成されたダイヤフラム層とを具備する変換装置であり、固定電極とガード電極間の実効的な静電容量を極めて小さな値にするとともに、従表面から浸入する電気力線をガード電極で遮断するという作用を有する。

【手続補正 11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0031

【補正方法】変更

【補正内容】

【0031】本発明の請求項 6 に記載の発明は、請求項 1、2 記載の変換装置において、絶縁層に取り囲まれた導電層内部に電荷を注入して成るエレクトレットを、前記固定電極の上部に設けたものであり、蓄積電荷の量を制御可能として、変位を電圧に変換する感度を可変とするという作用を有する。

【手続補正 12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【補正内容】

【0041】固定電極下部接続端子 113 および可動電極下部接続端子 163 およびガード電極下部接続端子 118 に至る孔を、第 2 ダイヤフラム層 170 から開ける。主表面全体にクロムなどの第 3 導電層 180 を堆積して、可動電極の出力端子 181 および固定電極の出力端子 182 およびガード電極の出力端子 183 の領域以外の第 3 導電層 180 を除去する（図 2 e）。

【手続補正 13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0046

【補正方法】変更

【補正内容】

【0046】固定電極 111 には、電圧源 V_b から抵抗 R_b を介して電圧が印加され、電荷 Q_x が蓄積されている。この電荷 Q_x の大きさは $C_x \cdot V_b [C]$ で、印加動圧力が変化して静電容量 C_x が変化しても、時定数 $R_b \cdot C_x$ がこの変化よりも大きいので、電荷は移動せずに、この量を保つ。そのため、この静電容量 C_x の変化は、コンデンサ C_x の端子電圧 $V_{cx} (= Q_x / C_x)$ として現れる。この電圧 V_{cx} を高入力インピーダンスの演算増幅器 A2 からなる緩衝増幅手段で受け取り、低出力インピーダンスの電圧 E_o として出力し、同時に、ガード電極 116 を駆動する。このように構成すると、固定電極 111 とガード電極 116 は同位になるため、この間には電荷の移動が無いので、静電容量 C_{qx} を持つコンデンサ C_{qx} であっても、静電容量 C_x の変化に対するコンデンサ C_{qx} の影響をほとんどゼロとすることができる。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0054

【補正方法】変更

【補正内容】

【0054】このように、固定電極111および基準固定電極50と基板100との間にガード電極116を設け、このガード電極116を演算増幅A2からなる緩衝増幅手段によって、固定電極111の電圧変化に追従させるように駆動しているため、固定電極111および基準固定電極50とガー *

*ド電極116との間の実効的な静電容量を極めて小さな値にできる。その結果、微小な容量変化を検出することが可能な、静電容量検出型の変換装置を構成することができる。

【手続補正15】

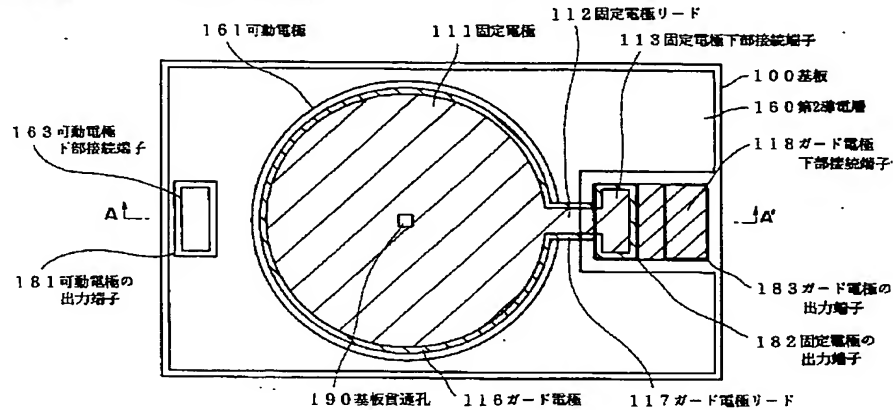
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

【補正内容】

【図1】



【手続補正16】

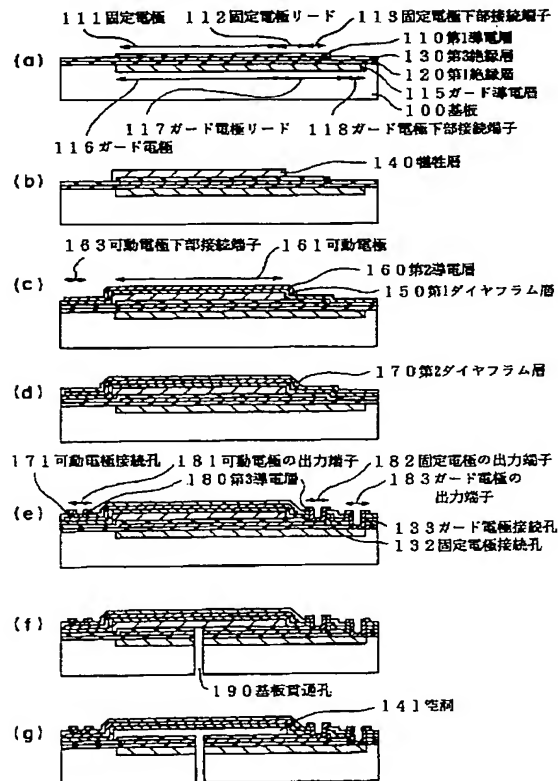
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図2

【補正方法】変更

【補正内容】

【図2】



【手続補正17】

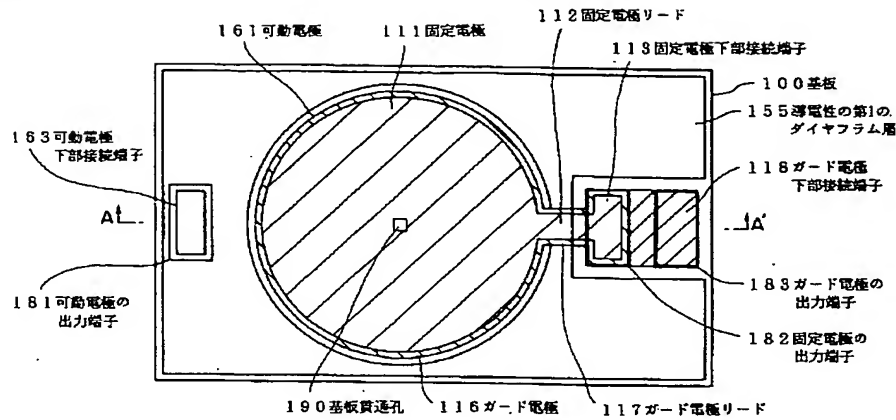
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図4

【補正方法】変更

*【補正内容】

*【図4】



【手続補正18】

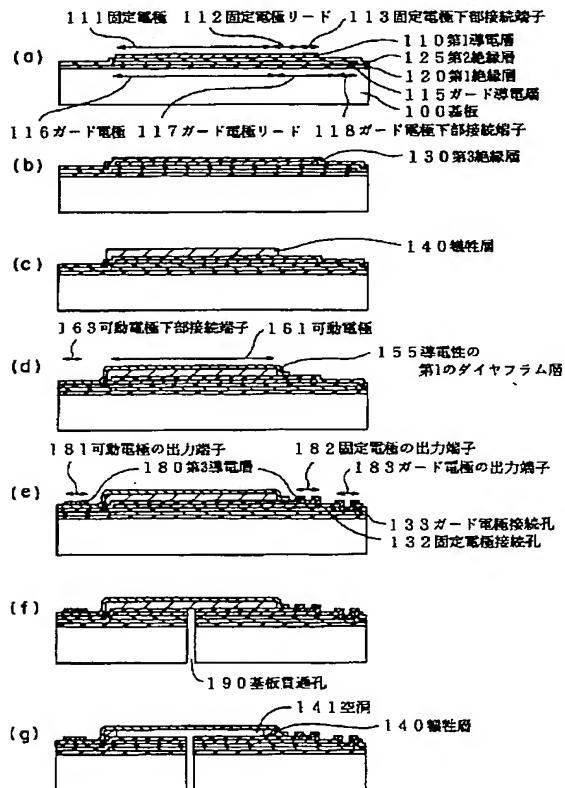
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図5

【補正方法】変更

【補正内容】

【図5】



【手続補正19】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図7

【補正方法】変更

【補正内容】

【図7】

